

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Дослідження методів оптимізації модуля
складання маршруту доставок ІС кур'єрської агенції
(тема)

Виконала:

студентка 2 курсу, групи ІУСТм-21-1
Катерина КОЛІСНИК
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. ІУС Аліна МІХНОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)


Костянтин ПЕТРОВ

(власне ім'я, прізвище)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
Кафедра Інформаційних управляючих систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)
Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології
(повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри 
(підпис)
« 21 » листопада 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Студентові Колісник Катерині Олексіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

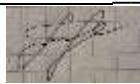
1. Тема роботи (проекту): Задача «Дослідження методів оптимізації модуля складання маршруту доставок ІС кур'єрської агенції».
затверджена наказом по університету від "14" листопада 2022 р. № 1490 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії: 15.12.2022
3. Вихідні дані до роботи (проекту): матеріали передатестаційної практики; нормативні документи щодо функціонування кур'єрських агенцій; організаційна структура кур'єрської агенції, функціональна структура інформаційної системи кур'єрської агенції, аналітичні матеріали щодо методів оптимізації маршрутів доставки.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: огляд та аналіз існуючих інформаційних систем для кур'єрської агенції; аналіз існуючих методів оптимізації маршруту доставок; постановка задачі дослідження; дослідження методів оптимізації маршруту доставок; обґрунтування доцільності використання методів; дослідження графових моделей для методів складання маршруту доставок; побудова та порівняльне оцінювання графових моделей для оптимізації маршруту доставок; обґрунтування вибору методу; апробація результатів дослідження.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих інформаційних систем для кур'єрських агенцій	10.10.2022– 21.10.2022	Виконано
2	Аналіз вимог щодо оптимізації маршруту доставок	22.10.2022– 31.10.2022	Виконано
3	Аналіз існуючих методів оптимізації маршруту доставок	1.11.2022– 20.11.2022	Виконано
4	Постановка задачі дослідження	21.11.2022– 22.11.2022	Виконано
5	Дослідження методів оптимізації для складання раціонального маршруту	23.11.2022– 27.11.2022	Виконано
6	Дослідження графових моделей для методів складання маршруту доставок	28.11.2022– 2.12.2022	Виконано
7	Побудова та використання графових моделей для оптимізації маршруту	3.12.2022– 4.12.2022	Виконано
8	Апробація результатів досліджень	6.12.2022– 7.12.2022	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	8.12.2022–11.12.2022	Виконано

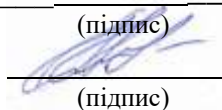
Дата видачі завдання 21.11.2022

Студент



(підпис)

Керівник роботи (проекту)



(підпис)

доц. каф. ІУС Аліна МІХНОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 62 с., 16 табл., 11 рис., 1 дод., 14 джерел.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, КУР'ЄРСЬКА АГЕНЦІЯ, МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, МОДУЛЬ ДОСТАВОК, МОДУЛЬ МАРШРУТІВ, МОДУЛЬ СКЛАДАННЯ МАРШРУТУ ДОСТАВОК, ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА

Об'єкт дослідження – процес складання маршруту доставок кур'єрської агенції.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідити методи оптимізації та обрати метод раціональної побудови маршрутів для модуля складання маршруту доставок інформаційної системи кур'єрської агенції.

Метод дослідження – методи системного та об'єктно-орієнтованого аналізу.

У роботі проведено аналіз існуючих інформаційних систем для кур'єрських агенцій, досліджено вимоги щодо оптимізації маршруту доставок та існуючі методи оптимізації. Обґрунтовано доцільність використання певного методу для оптимізації складання маршруту доставки. Досліджено та побудовано графові моделі для методів оптимізації складання маршруту доставки. Обґрунтовано вибір методу та відповідної графової моделі для раціональної побудови маршруту доставки для кур'єрів. Проведено апробацію результатів дослідження для поставленого завдання.

Галуззю застосування задачі, яка розробляється, є підприємства, які надають кур'єрські послуги в межах одного міста.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 62 p., 16 tables, 11 figures, 1 appendix, 14 sources.

**COURIER AGENCY, DELIVERY MODULE, DELIVERY ROUTE
COMPILATION MODULE, FUNCTIONAL STRUCTURE, INFORMATION
SYSTEM, OPTIMIZATION METHODS, ROUTE MODULE**

The object of the study is the process of drawing up a delivery route of a courier agency.

The purpose of the qualification work is to investigate optimization methods and choose a method of rational construction of routes for the delivery route compilation module of the information system of the courier agency.

Research method – methods of system and object-oriented analysis.

The paper analyzes the existing information systems for courier agencies, examines the requirements for the optimization of the delivery route and the existing optimization methods. The expediency of using a certain method to optimize the drawing up of the delivery route is substantiated. Researched and constructed graph models for methods of optimization of the construction of the delivery route. The choice of the method and the corresponding graph model for the rational construction of the delivery route for couriers is substantiated. Approbation of the research results for the assigned task was carried out.

The field of application of the task being developed is enterprises that provide courier services within the limits of one city.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Огляд та аналіз існуючих інформаційних систем для кур'єрських агенцій.....	11
1.1 Аналіз існуючих інформаційних систем.....	11
1.2 Аналіз вимог щодо оптимізації маршруту доставок.....	12
1.3 Аналіз існуючих методів оптимізації маршруту доставок.....	14
1.4 Постановка задачі дослідження.....	16
2 Дослідження методів оптимізації для складання раціонального маршруту доставок в модулі інформаційної системи кур'єрської агенції.....	17
2.1 Обґрунтування доцільності використання методів складання маршруту доставки.....	17
2.2 Дослідження графових моделей для методів складання маршруту доставки.....	21
3 Побудова та використання графових моделей для оптимізації маршруту доставок в модулі інформаційної системи кур'єрської агенції.....	23
3.1 Побудова та порівняльне оцінювання графових моделей для методів що досліджуються.....	23
3.2 Обґрунтування вибору методу та відповідної графової моделі для раціональної побудови маршруту доставки.....	36
4 Апробація результатів досліджень.....	38
Висновки.....	43

Перелік джерел посилання.....	44
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	46

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я;

ІС – інформаційна система;

ОА – об'єкт автоматизації;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

API – Application Programming Interface.

ВСТУП

В наш час у зв'язку з розвитком комп'ютерної техніки з'явилася можливість автоматизувати багато процесів. Кур'єрська агенція є областю комерційної діяльності, що розвивається, тому воно намагається активно використовувати можливості Інтернету для розповсюдження своїх послуг. Існує багато конкуруючих кур'єрських служб, які розвиваються швидкими темпами, тому потрібно задовольнити якомога більше потреб клієнтів та співробітників агенції, зробити можливим швидко та раціонально доставляти замовлення до клієнтів [1,2].

Актуальність проблеми полягає в необхідності оптимізувати процес складання маршруту доставок кур'єрами, використовуючи найкоротший маршрут для доставки замовлення. В ході роботи було проведено аналіз існуючих методів оптимізації складання маршруту доставок, побудовано та обґрунтовано вибір методу та відповідної графової моделі для раціонального складання маршруту доставок для модуля інформаційної системи кур'єрської агенції.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідити існуючі методи оптимізації та обрати метод раціональної побудови маршрутів для модуля складання маршруту доставок інформаційної системи кур'єрської агенції.

Завдяки оптимізації процесу складання маршруту доставок буде забезпечено економію ресурсів, підвищено швидкість виконання доставок співробітниками агенції та завдяки цьому кур'єри зможуть обслуговувати більшу кількість клієнтів, що позитивно вплине на економічне становище даної кур'єрської агенції.

Дана робота виконується відповідно до методичних вказівок щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи [3].

Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи виконано згідно з вимогами державного стандарту [4].

Перелік джерел посилання оформлюється згідно з державним стандартом [5].

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ КУР'ЄРСЬКИХ АГЕНЦІЙ

1.1 Аналіз існуючих інформаційних систем побудови маршрутів

На сьогоднішній день досить популярною стала безконтактна доставка об'єктів різного типу: їжа, документи, негабаритні товари, подарунки, поліграфія. Саме тому послуги кур'єрських служб користуються попитом та стають все більш популярними, це дозволяє позбутися зайвих контактів з іншими людьми, що знаходяться у поштових чергах та зберегти свій час.

Значних темпів розвитку та популярності дана область отримала в період пандемії COVID-19. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендувало впровадження карантину, самоізоляції та наполегливо не рекомендувало залишати житло для мінімізації контактів між людьми [6].

З введенням карантину майже всі різноматнітні заклади мусили припинити прийняття клієнтів онлайн та закритись на період карантину, що спричинило досить великі збитки. Умовою продовження роботи для організацій стала наявність доставки замовлення клієнту до дому, що дало змогу людям притримуватись рекомендаціям ВООЗ під час карантину.

Таким чином багатьом організаціям довелось відкривати або співпрацювати з кур'єрськими службами аби продовжувати працювати та задовольняти своїх клієнтів.

В свою чергу кур'єрам, в процесі виконання доставки одразу декільком адресатам неможливо орієнтуватися по місту без карт, особливо по великим містам, таким як Київ, Харків. Також при необхідності виконання доставки одразу в декілька точок міста важко продумати маршрут без додаткових сервісів, не кажучи про їх оптимізацію.

Для дослідження та аналізу було вибрано наступні сервіси, які надають картографічні послуги: Google Maps та Bing Maps, розглянемо кожен картографічний детально.

Google Maps – це безкоштовний картографічний сервіс від компанії Google, а також набір застосунків, побудованих на основі цього сервісу й інших технологій Google. Сервіс являє собою карту та супутникові знімки всього і надає користувачам можливості панорамного перегляду вулиць, аналізу трафіку у реальному часі, прокладання маршруту: автомобілем, пішки, велосипедом або громадським транспортом. З сервісом інтегрований бізнес-довідник і карта автомобільних доріг, з пошуком маршрутів [7].

Bing Maps – картографічний сервіс від Microsoft, що є частиною порталу Bing. Компанія Microsoft намагалась зайняти нішу найкращого картографічного сервісу, але конкурувати з Google Maps не вдалось, тому що карти від Google набули своєї популярності через доступне API для інтеграції їх карт на різноманітні сайти [8].

1.2 Аналіз вимог щодо оптимізації маршруту доставок

Аналізуючи існуючі сервіси з побудови маршрутів доставки жоден з них не пропонує оптимізувати маршрут та знайти найкоротших, враховуючи пробки у місті. Час доставки замовлень досить важливий для кур'єрських агенцій, оскільки потрібно обслуговувати якомога більше клієнтів за день, якщо ж час доставки буде довгим, то є ймовірність, що клієнт може відмовитись, що в свою чергу тягне за собою економічні збитки.

Таким чином, маємо наступні обмеження для інформаційної системи (ІС) у вигляді часу до однієї години та у вигляді кількості замовлень 4-5 за

годину, близько 10 хвилин між пунктами та до 10 хвилин на передачу, що для п'яти замовлень становитиме 1-1.20 години. Тому потрібно розробити математичне забезпечення для інформаційної системи з оптимізацією складання маршруту доставки для вирішення цього недоліку. Запропоноване математичне забезпечення, з використанням сучасних зовнішніх систем визначення відстані, дозволить реалізувати в собі оптимізацію маршрутів доставки замовлень використовуючи методи рішення задачі комівояжера.

Місце модуля оптимізації в інформаційній системі зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Місце модуля оптимізації в інформаційній системі

Метод оптимізації складання маршруту доставок входить як до функціональної частини інформаційної системи, так і до забезпечуючої, а саме, до математичного забезпечення.

При побудові інформаційної системи для забезпечення функціонування кур'єрської агенції треба враховувати:

- підготовку вхідної інформації: список замовлень на доставку від закладу;
- підготовку замовлень для обробки сервісом визначення відстані;
- визначення часу проїзду до точок доставки за допомогою сервісу визначення відстані та включення її в маршрут;
- визначення раціонального маршруту доставки;
- формування вихідної інформації щодо супроводження замовлень [9].

1.3 Аналіз існуючих методів оптимізації маршруту доставок

Для оптимізації маршруту доставки буде розглянуто декілька методів з найвідомішої задачі комбінаторної оптимізації, а саме «задачі комівояжера».

Задача комівояжера (комівояжер — бродячий торговець; англ. Travelling Salesman Problem, TSP; нім. Problem des Handlungsreisenden) полягає у знаходженні найвигіднішого маршруту, що проходить через вказані міста хоча б по одному разу [10].

У випадку з кур'єрською агенцією, кур'єр повинен відправитись зі стартової точки, відвідати по одному разу в невідомому порядку пункти доставки і повернутися в стартову точку. В умовах завдання вказуються критерій вигідності маршруту (найкоротший, найдешевший, сукупний критерій тощо) і відповідні матриці відстаней, вартості тощо. Зазвичай задано, що маршрут повинен проходити через кожне місто тільки один раз, в такому випадку розв'язок знаходиться серед гамільтонових циклів.

Дана задача, як задача лінійного програмування є найбільш вивченою на сьогоднішній день та має велику актуальність для компаній, які постачають свої товари в різні міста.

Існує безліч різних методів вирішення задачі комівояжера:

а) точні методи:

- 1) метод повного перебору;
- 2) метод гілок і меж.

б) евристичні методи:

- 1) метод найближчого сусіда;
- 2) метод найдешевшого включення;
- 3) метод включення найближчого міста;
- 4) метод мінімального кістяка дерева;
- 5) метод генетичних алгоритмів;
- 6) метод мурашиних колоній.

Відомі методи розв'язання поділяють на дві групи, що можна комбінувати. Точні методи знаходять, маючи достатньо часу, гарантовано оптимальний шлях. Евристичні методи знаходять, часто за коротший час, гарні розв'язки, що, в загальному випадку, можуть бути гіршими за оптимальні [11].

Найбільш популярними методами для вирішення поставленої задачі є: метод повного перебору, метод гілок і меж та метод найближчого сусіда. Саме ці методи буде розглянуто в ході виконання даної роботи.

1.4 Постановка задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи є дослідити методи оптимізації та обрати метод раціональної побудови маршрутів, який б дав можливість скоротити час доставки замовлень для модуля складання маршруту доставок інформаційної системи кур'єрської агенції.

Для вирішення поставленої задачі потрібно:

- провести аналіз існуючих методів оптимізації;
- дослідити методи оптимізації для складання раціонального маршруту доставки для поставленого завдання;
- обґрунтувати доцільність використання методів оптимізації;
- дослідити графові моделі для методів складання маршруту доставки;
- побудувати та порівняти графові моделі для методів, що досліджуються;
- обґрунтувати вибір методу та відповідної графової моделі для раціональної побудови маршруту доставки.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СКЛАДАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МАРШРУТУ ДОСТАВОК В МОДУЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ кур'єрської агенції

2.1 Обґрунтування доцільності використання методів складання маршруту доставки

Для визначення методу оптимізації маршрутів доставки буде проаналізовано три методи рішення задачі комівояжера: метод повного перебору, метод найближчого сусіда та метод гілок і меж.

Метод повного перебору може застосовуватися тільки для задач малої розмірності при розгляді до двох десятків відвідуваних пунктів. Для реалізації методу повного перебору необхідно виробляти генерацію всіх перестановок заданого числа елементів. Зробити це можна кількома способами, але найпоширеніший – це перебір в лексикографічному порядку [12].

Блок-схему методу повного перебору наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема методу найближчого сусіда

Метод найближчого сусіда – евристичний алгоритм розв'язання задачі комівояжера. Відноситься до так званих жадібних алгоритмів. Жадібний алгоритм має на увазі прийняття локально оптимальних рішень, допускаючи що кінцеве рішення також виявиться оптимальним [13].

Формулюється наступним чином: алгоритм найближчого сусіда починається в довільній точці та поступово відвідує кожну найближчу точку, яка ще не була відвідана. Пункти обходу плану послідовно включаються до маршруту, причому, кожен черговий пункт, що включається до маршруту, повинен бути найближчим до останнього вибраного пункту серед усіх інших, ще не включених до складу маршруту. Алгоритм завершується, коли відвідано всі точки та остання точка з'єднується з першою.

Основним недоліком даного методу є те, що деякі міста «пропускаються» в ході роботи алгоритму і в результаті доводиться їх включати в кінці маршруту з більш високими тарифами, що в свою чергу негативно впливає на кінцевий результат (збільшенням довжини маршруту, а відповідно, і затрат на переміщення).

Блок-схему методу найближчого сусіда наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Блок-схема методу найближчого сусіда

Метод гілок і меж – загальний алгоритмічний метод, який широко застосовується для вирішення завдань комбінаторної оптимізації. В основу метода гілок і меж покладено той факт, що для отримання розв’язку задачі оптимізації на деякій допустимій множині можна розбити дану множину на

підмножини, знайти розв'язок задачі на кожній з підмножин і у якості відповіді взяти найкращий з отриманих розв'язків, у відповідності з критерієм якості задачі. Особливістю методу є можливість відкидання так званих «безперспективних» підмножин, тобто підмножин, на яких гарантовано не може бути розв'язку вихідної задачі. Фізично метод складається з двох процедур: процедура розгалуження та процедура обмеження. Даний метод є вдосконаленим методом найближчого сусіда [14].

Блок-схему методу гілок і меж наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Блок-схема методу гілок і меж

Кожен з розглянутих методів припускає побудову графової моделі, таким чином після побудови та аналізу графових моделей для кожного методу можна визначити який із методів найбільш раціональний для оптимізації складання маршруту доставки.

2.2 Дослідження графових моделей для методів складання маршруту доставки

Граф – це абстрактний комбінаторний об’єкт, що складається з двох множин V (vertex) – множина вершин і E (edge) – множина ребер.

Маршрут в графі – це спосіб пройти в графові по ребрах – від вершини, до вершини. Тобто, маршрут – це послідовність $v_1 e_1 v_2 e_2 \dots v_n e_n v_{n+1}$ з вершини v_1 до вершини v_{n+1} . Вершини v_i до вершини v_{i+1} це кінці ребра e_i . Довжина маршруту вимірюється кількістю ребер, що входять до його складу [15].

Використовується цілий ряд способів представлення графів, що обумовлено областю їх використання. Наприклад, матричне представлення графів використовується в інформаційних технологіях. Розглянемо декілька з них:

– явний спосіб. Граф розглядається як дві множини $G = (V, E)$ де V – множина вершин $V = \{a, b, c, d\}$ і E – множина ребер $E = \{(a, b), (a, c), (b, d), (b, c)\}$;

– графічний спосіб. Подання графа у вигляді зображення є поширеним, оскільки це зручний і наочний спосіб.

Одним з варіантів зображення графу може бути такий, як наведено на рисунку 2.4.

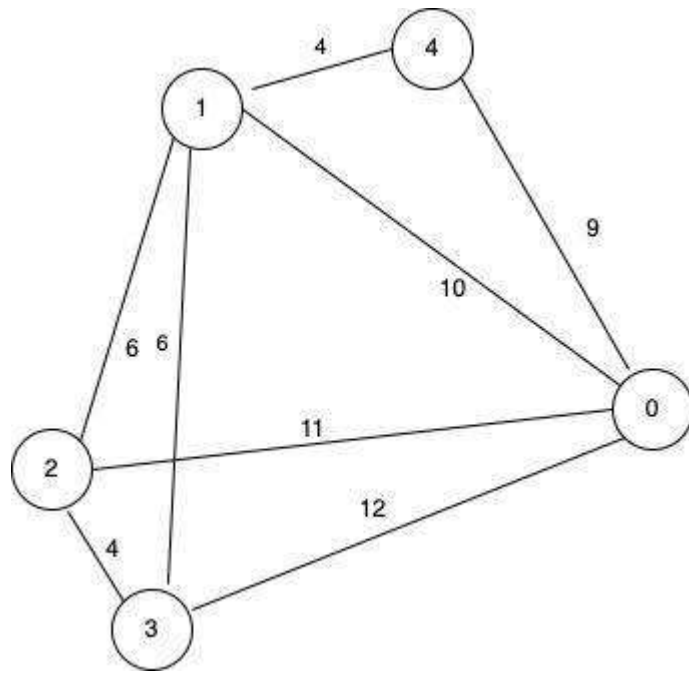


Рисунок 2.4 – Варіант зображення графу

На рисунку зображено неорієнтований граф G , що складається з двох множин:

$V = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ – довільна множина вершин, або об'єктів;

E – множина ребер, або пар об'єктів з V .

Граф, який містить тільки ребра називається неорієнтованим.

Орієнтований граф (орграф) – це граф, ребрам якого присвоєно напрямок.

Орієнтовані ребра називаються дугами.

3 ПОБУДОВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ГРАФОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ДОСТАВОК В МОДУЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ кур'єрської агенції

3.1 Побудова та порівняльне оцінювання графових моделей для методів що досліджуються

Для визначення методу оптимізації маршрутів доставки буде побудовано графові моделі для трьох методів рішення задачі комівояжера: повного перебору, найближчого сусіда та метода гілок і меж.

Для прикладу використаємо вхідні дані, що наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольский»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

Для проведення порівняльного аналізу даних методів використаємо координати місць в місті Харкові, час дороги між ними зазначений в хвиликах та отриманий за допомогою сервісу GoogleMaps. Початковою точкою для старту маршруту було обрано БЦ «Протон».

Після аналізу даних методів буде виявлено раціональний метод, який буде задіяний в математичному забезпеченні для інформаційної системи.

Розрахування раціонального часу доставки за вхідними даними з таблиці 3.1 за допомогою методу повного перебору:

Як приклад розглянемо перебір перестановок з п'яти елементів, позначених цифрами від 1 до 5. Лексикографічно першою перестановкою буде 1-2-3-4-5, другою – 1-2-3-5-4, останньою – 5-4-3-2-1. Для безпосередньої реалізації генерації перестановок потрібно визначити загальний алгоритм перетворення будь-якої перестановки в наступну.

Принцип роботи алгоритму:

Нехай дана перестановка 1-3-5-4-2. Потрібно рухатися по перестановці справа наліво, поки вперше не буде виявлено число, менше, ніж попереднє. Припустимо, що знайдене число розташовується на позиції -1. Міняємо знайдене число місцями з найменшим з великих чисел, які розташовані правіше позиції -1. Після чого, числа правіше позиції -1 необхідно впорядкувати по зростанню.

В результаті виходить безпосередньо наступна перестановка: у прикладі це 1-4-2-3-5, за нею йде 1-4-2-5-3 і так далі. Після генерації перестановки рахується сума проїзду між пунктами і отримується результат. Після того, як згенеровані всі перестановки і пораховані суми проїзду для них, вибирається маршрут, відповідний мінімальному часу об'їзду пунктів [16].

Можливі варіанти маршрутів згенеровані методом повного перебору наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Можливі варіанти маршрутів для методу повного перебору

012340	031240
012430	031420
013240	032140
013420	032310
014230	034120
014320	034210
021340	041230
021430	041320
023140	042130
023410	042310
024130	043120
024310	043210

Раціональний маршрут побудований методом повного перебору наведено на рисунку 3.1.

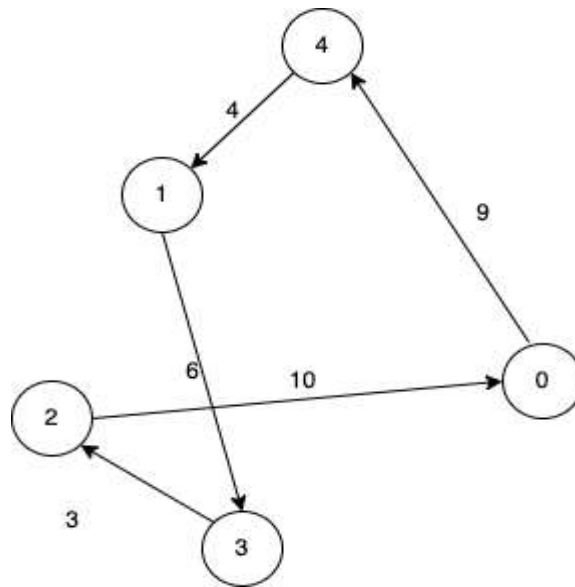


Рисунок 3.1 – Маршрут побудований методом повного перебору

В результаті кур'єр пройшов за оптимальним маршрутом 0-4-1-3-2-0, витративши на проїзд $9 + 4 + 6 + 3 + 10 = 32$ хвилини.

Розрахування раціонального часу доставки за вхідними даними з таблиці 3.1 за допомогою методу найближчого сусіда:

Алгоритм формулюється наступним чином:

Пункти обходу плану послідовно включаються в маршрут, причому кожен черговий пункт повинен бути найближчим до останнього обраного пункту серед усіх інших, ще не включених до складу маршруту [17].

На першому і наступних етапах кур'єру необхідно вибрати найближчий з ще невідвіданий пункт. При чому що повернення в початковий пункт завчасно неможливий. На першому кроці вибір проводиться без обмежень, бо повторне відвідування поки не можливо, і повернення в стартовий пункт навіть теоретично не представляється реальним через знаходження в ньому. Тобто перебуваючи в базовому пункті БЦ «Протон» кур'єр вибере для відвідування пункт 4 – Вул. Отакара Яроша, 12, час проїзду до якого мінімальний – 9 хвилин. Вибір пункту з мінімальним часом проїзду наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір першого пункту з мінімальним часом проїзду

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольский»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

Знаходячись в 0 пункті кур'єр обере 4, тому що він є найближчим. Опинившись в 4-му пункті для подальшого відвідування кур'єр обере 1-ий пункт, оскільки він є найближчим до поточного.

Вибір другого пункту з мінімальним часом проїзду наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір другого пункту з мінімальним часом проїзду

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольский»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

З 1-го пункту кур'єр поїде в 2-й, тому що час до 2-го і 3-го однаковий, але 2-ий пункт є першим по порядку.

Вибір третього пункту з мінімальним часом проїзду наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вибір третього пункту з мінімальним часом проїзду

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольський»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

У даному пункті кур'єр обере найблищий пункт, який не суперечить умовам – це вул. Ярослава Мудрого, 10.

Вибір четвертого пункту з мінімальним часом проїзду наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вибір четвертого пункту з мінімальним часом проїзду

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольський»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

Як тільки всі точки відвідані, кур'єр може повертатися в стартовий пункт.

Повернення в стартовий пункт наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Повернення в стартовий пункт

Назва	№	0	1	2	3	4
БЦ «Протон»	0	М	10	11	12	9
ТЦ «Нікольський»	1	8	М	6	6	4
Вул. Ярослава Мудрого, 10	2	7	7	М	4	9
ЖД Вокзал	3	10	10	3	М	12
Вул. Отакара Яроша, 12	4	8	4	9	9	М

В результаті кур'єр проїхав за маршрутом 0-4-1-2-3-0, витративши на проїзд $9 + 4 + 6 + 4 + 10 = 33$ хвилини.

Раціональний маршрут побудований методом найближчого сусіда наведено на рисунку 3.2.

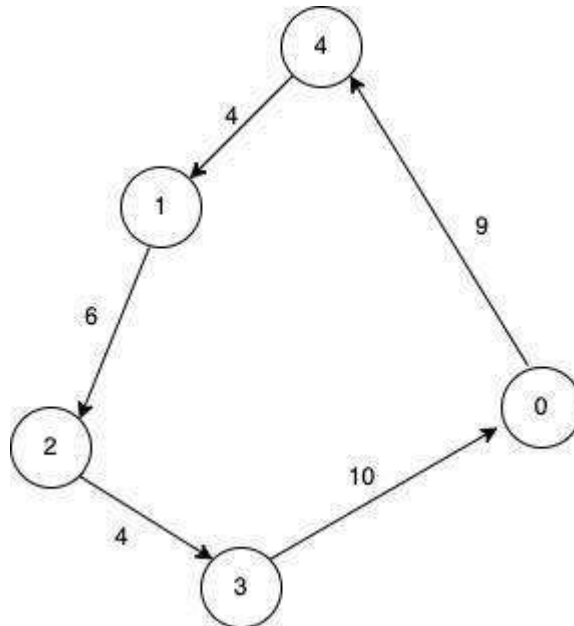


Рисунок 3.2 – Маршрут побудований методом найближчого сусіда

Розрахування раціонального часу доставки за вхідними даними з таблиці 3.1 за допомогою методу гілок та меж.

Алгоритм складається з двох етапів:

Перший етап: операція приведення матриці і обчислення нижньої оцінки вартості маршруту H .

Знаходження мінімальних елементів в кожному рядку константи приведення d_i наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Знаходження мінімальних елементів в кожному рядку

№	0	1	2	3	4	d_i
0	M	10	11	12	9	9
1	8	M	6	6	4	4
2	7	7	M	4	9	4
3	10	10	3	M	12	3
4	8	4	9	9	M	4

З елементів рядків матриці віднімаємо константи приведення. Результати наведено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Віднімання з елементів рядків константи приведення

№	0	1	2	3	4
0	M	1	2	3	0
1	4	M	2	2	0
2	3	3	M	0	5
3	7	7	0	M	9
4	4	0	5	5	M

Знаходження мінімального елемента в кожному стовпці та константи приведення. Результати наведено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Знаходження мінімального елемента в кожному стовпці

№	0	1	2	3	4
0	M	1	2	3	0
1	4	M	2	2	0
2	3	3	M	0	5
3	7	7	0	M	9
4	4	0	5	5	M
<i>d_i</i>	3	0	0	0	0

З елементів стовпців матриці віднімаються константи приведення. Результати наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Віднімання з елементів рядків константи приведення

№	0	1	2	3	4
0	M	1	2	3	0
1	1	M	2	2	0
2	0	3	M	0	5
3	4	7	0	M	9
4	1	0	5	5	M

В результаті наведено матрицю, в якій в кожному рядку i в кожному стовпці є хоча б один нульовий елемент.

Обчислення N (нижньої межі) як суму констант приведення d_i, d_j :

$$H = \sum d_j + \sum d_j$$

$$H = 9 + 4 + 4 + 3 + 4 + 3 + 0 + 0 + 0 + 0 = 27$$

Другий етап: Обчислення штрафу за невикористання для кожного нульового елемента наведеної матриці витрат. Штраф за невикористання елемента з індексом (i, j) означає, що відповідне ребро не буде включено до маршруту і це значить, що мінімальна вартість невикористання цього ребра дорівнює сумі мінімальних елементів в рядку i стовпці i стовпці j .

Пошук всіх нульових елементів наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Пошук всіх нульових елементів

№	0	1	2	3	4
0	M	1	2	3	0
1	1	M	2	2	0
2	0	3	M	0	5
3	4	7	0	M	9
4	1	0	5	5	M

Нульові елементи по черзі замінюються на M (нескінченність). Кожному нульовому елементу зіставляється штраф – сума констант приведення за його невикористання. Результати наведено у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Присвоєння суми констант приведення

№	0	1	2	3	4	d_i
0	M	1	2	3	0(9)	9
1	1	M	2	2	0(4)	4

Кінець таблиці 3.13

№	0	1	2	3	4	d_i
2	0(7)	3	M	0(4)	5	4
3	4	7	0(3)	M	9	3
4	1	0(4)	5	5	M	4
d_i	3	0	0	0	0	

Вибирається елемент з ще не обраних, якому відповідає максимальний штраф.

Вибір елемента з максимальним штрафом обумовлений тим, що виключення з маршруту цього ребра призведе до максимального збільшення вартості раціонального маршруту, знаходження якого є метою. Найбільша сума констант приведення дорівнює $(9 + 0) = 9$ для ребра (0,4), отже, вибираємо цей елемент.

Тепер вихідна безліч розбивається на дві підмножини - (i^*, j^*) (містить ребро (i, j)) і (i, j) (що не містить ребро (i, j)). Проводиться обчислення нижніх меж для підмножин. У даному випадку безліч розбивається на підмножини (0,4) і $(0^*, 4^*)$.

Виключення ребра (i^*, j^*) : нижня межа для підмножини (i^*, j^*) дорівнює сумі нижньої межі N вихідного безлічі і штрафу за невикористання ребра (i, j) .

Виняток ребра (0,4) проводиться шляхом заміни елемента $(0,4) = 0$ на M , після чого здійснюється чергове приведення матриці відстаней для утворився підмножини $(4^*, 0^*)$, в результаті скорочену матрицю наведено у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Скорочена матриця

№	0	1	2	3	4	d_i
0	M	1	2	3	M	9
1	1	M	2	2	0	0
2	0	3	M	0	5	0
3	4	7	0	M	9	0
4	1	0	5	5	M	0
d_i	0	0	0	0	0	

Нижня межа гамільтонових циклів цього підмножини:

$$H(0^*, 4^*) = 27 + 9 = 36$$

Включення ребра (i, j) : при обчисленні нижньої межі для безлічі (i, j) необхідно взяти до уваги, що раз ребро (i, j) входить в маршрут, то симетричне ребро (j, i) в маршрут входити не може, тому в матриці цей елемент замінюється на M.

В зв'язку з тим, що з пункту i – «вже пішли», а в пункт j – «вже прийшли», то жодне ребро, що виходить з i , і жодне ребро, що приходить в j , вже використовуватися не можуть, тому викреслюємо з матриці рядок i і стовпець j .

Проводимо операцію приведення для матриці: нижня межа для (i, j) буде дорівнювати нижній межі H вихідної безлічі плюс сума констант приведення для скороченої матриці.

Включення ребра $(0,4)$ проводиться шляхом виключення всіх елементів 0-го рядка і 4-го стовпця, в якій елемент $(4,0)$ замінюється на M, для запобігання утворенню негамільтонова циклу. В результаті виходить інша скорочена

матриця (4×4), яка підлягає операції приведення. Вигляд скороченої матриці після операції приведення наведено у таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Скорочена матриця після операції приведення

№	0	1	2	3	4	d_i
0	1	1	M	2	2	1
1	0	M	3	M	0	0
2	4	3	7	0	M	0
3	M	7	0	5	5	0
d_i	0	0	0	0	0	

Сума констант приведення скороченою матриці:

$$\sum d_i + \sum d_j = 1$$

Якщо $(i, j) \leq (i^*, j^*)$, то ребро включається в маршрут, і подальша робота методу відбувається з матрицею меншої розмірності. В іншому випадку відбувається повернення до пункту 1 і розглядається елемент з наступним по спадаючій штрафом за невикористання.

Нижня межа підмножини (0, 4) дорівнює:

$$H(0,4) = 27 + 1 + 28 < 36$$

Оскільки нижня межа цієї підмножини (0,4) менше, ніж підмножини $(0^*, 4^*)$, то ребро (0,4) включається в маршрут.

Процес розгалуження шляхом включення і виключення ребер триває до тих пір, поки в розгляді не опиниться матриця розмірності 2. З неї додавання ребер в маршрут відбувається тривіальним чином [18].

Отже, алгоритмом гілок і меж в кінці роботи був запропонований маршрут: 0-4-3-1-2-0, витративши на проїзд 36 хвилин.

Раціональний маршрут побудований методом гілок і меж наведено на рисунку 3.3.

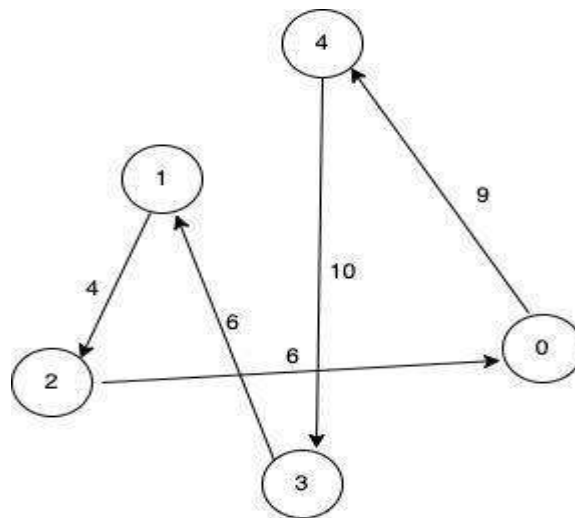


Рисунок 3.3 – Маршрут побудований методом гілок і меж

3.2 Обґрунтування вибору методу та відповідної графової моделі для раціональної побудови маршруту доставки

Результати оцінювання графових моделей методів рішення задачі комівояжера наведено у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Результати оптимізованих маршрутів

Метод	Час маршруту
Повного перебору	32 хвилини
Найближчого сусіда	33 хвилини
Гілок і меж	36 хвилини

В результаті порівняльного оцінювання графових моделей методів повного перебору, найближчого сусіда та метода гілок і меж можна зробити висновок, що раціональним буде метод повного перебору.

Але оскільки даний метод не є ефективним при великій кількості пунктів доставки, доцільніше буде обрати метод, який дав наступний раціональний результат – це метод найближчого сусіда, як метод для оптимізації складання маршрутів інформаційної системи кур'єрської агенції.

4 АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед запропонуванням використання методу найближчого сусіда, як методу оптимізації складання маршруту доставок проведемо аналіз функціонування роботи даного кур'єрської агенції.

Схему організаційної структури кур'єрської агенції наведено на рисунку 4.1.

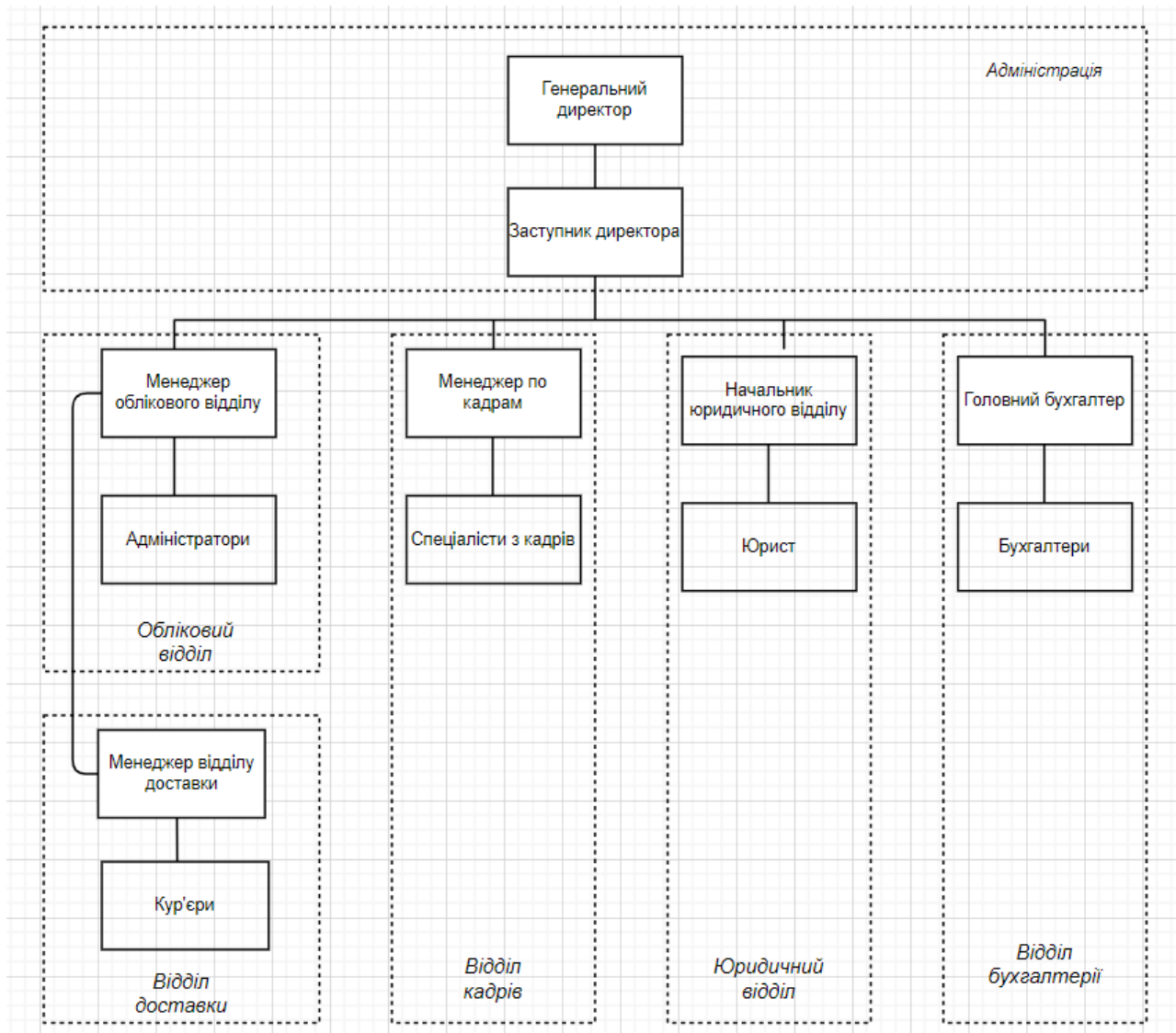


Рисунок 4.1 – Схема організаційної структури кур'єрської агенції

Організаційна структура даного кур'єрської агенції складається з наступних структурних одиниць: на чолі знаходиться генеральний директор агенції, який керує підприємством відповідно до чинного законодавства виробничо-господарської і фінансово-економічної діяльності підприємства, який несе усю повноту відповідальності за фінансово-господарські результати його діяльності. Займається стратегічним плануванням, визначенням загальної політики агенції. У його підпорядкуванні знаходиться заступник директора, який займається організацією бізнес-процесів підприємства.

У його підпорядкуванні є:

- менеджер відділу доставки, який підпорядковується менеджеру облікового відділу;
- менеджер облікового відділу;
- менеджер по кадрам;
- начальник юридичного відділу;
- головний бухгалтер.

Обліковий відділ: до складу входять менеджер облікового відділу та адміністратори. Діяльність облікового відділу полягає в виконанні наступних функцій: обробляти замовлення, які надходять від клієнтів, підтверджувати їх та при необхідності редагувати інформацію, слідкувати за вчасним їх виконанням, при необхідності призначати виконання доставки певному кур'єру, слідкувати за статусом та формувати необхідні звіти. Менеджер облікового відділу слідкує за виконанням адміністраторами своїх обов'язків.

Відділ кадрів: до складу входять менеджер по кадрам та спеціалісти по кадрам. Основною діяльністю є наймання нових співробітників підприємства.

Юридичний відділ: його очолює начальник юридичного відділу, який займається юридичними питаннями, які виникають на виробництві. У його

підпорядкуванні є юрист, який займається укладанням договорів з замовниками послуг.

Відділ бухгалтерії: до складу входять головний бухгалтер та бухгалтери. Діяльність відділу полягає в веденні фінансового обліку підприємства, складанні звітності про витрати, а також наданні необхідної фінансової звітності до контролюючих органів.

Відділ доставки: до складу входять менеджер відділу доставки та кур'єри. Діяльність відділу полягає в виконанні доставок адресатам. Менеджер відділу доставки слідує за виконанням кур'єрами своїх обов'язків.

Схему функціональної структури кур'єрської агенції наведено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Схема функціональної структури кур'єрської агенції

Як можна побачити на рисунку 4.2 на схемі функціональної структури немає модуля оптимізації складання маршруту доставки. Без даного модуля кур'єри не зможуть раціонально побудувати свій маршрут виконання доставки для того щоб за найкоротших проміжок часу обслужити більшу кількість клієнтів.

Додавши до функціональної структури кур'єрської агенції модуль оптимізації складання маршруту доставки взаємодія модулів буде виконуватись наступним чином:

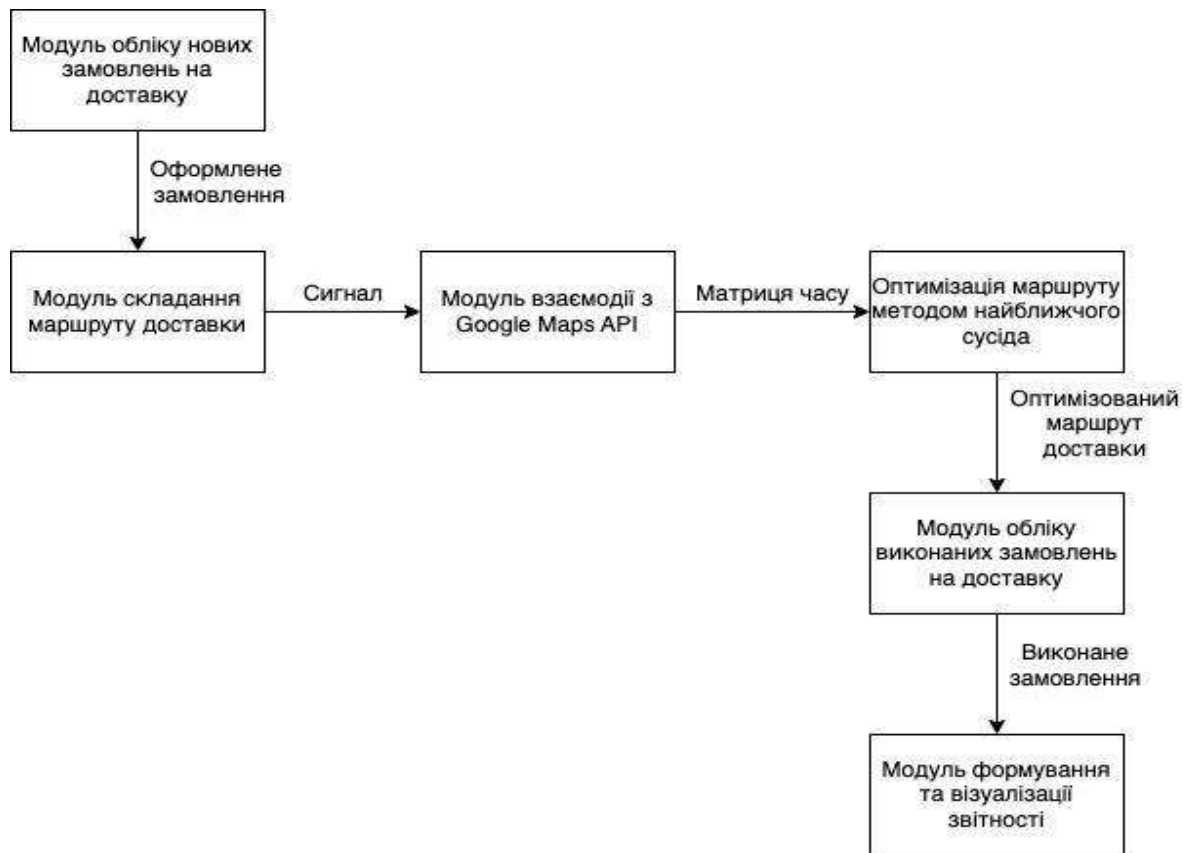


Рисунок 4.2 – Схема функціональної структури кур'єрської агенції з додаванням модуля оптимізації

Модуль взаємодії з Google Maps API відповідає за відправку та обробку відповідей з сервісу Google Maps. Даний блок виконує функцію визначення часу дороги до точок, на виході з цього функціонального блоку отримується матриця часу. Блок оптимізації маршруту доставки отримавши матрицю часу, займається оптимізацією маршруту доставки по точкам за допомогою метода розв'язку задачі комівояжера, а саме методу найближчого сусіда.

Завдяки додаванню даного модуля до інформаційної системи кур'єрської агенції кур'єри одразу будуть отримувати оптимізований маршрут за методом найближчого сусіда, який було запропоновано у розділах 2, 3.

Таким чином, підвищення продуктивності кур'єрів дасть можливість обслуговувати більшу кількість клієнтів, оскільки маршрути доставок будуть займати найкоротший проміжок часу та економію ресурсів.

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз існуючих інформаційних систем для кур'єрських агенцій, досліджено вимоги щодо оптимізації маршруту доставок та існуючі методи оптимізації. Досліджено принцип роботи даного кур'єрської агенції. Наведено аналіз його структурних та функціональних особливостей.

У роботі обґрунтовано доцільність використання певного методу для оптимізації процесу складання маршруту доставки для різних випадків. Досліджено та побудовано блок-схеми для кожного з методів. Побудовано графові моделі для методів оптимізації складання маршруту доставки. Обґрунтовано вибір методу найближчого сусіда та відповідної графової моделі для раціональної побудови маршруту доставки для кур'єрів.

Проведено апробацію результатів дослідження для поставленого завдання, а саме: проаналізовано існуючу функціональну структуру кукур'єрської агенції, наведено місце даного модуля оптимізації складання маршруту доставок у інформаційній системі та наведено результати застосування методу найближчого сусіда.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кур'єрські послуги. URL: <https://www.057.ua/catalog/11-1/taksi-perevozk/kurerskie-sluzby> (дата звернення: 25.11.2022).
2. Принципи роботи кур'єрської служби. URL: <http://www.p2p.com.ua/show-ews/71/> (дата звернення: 25.11.2022).
3. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи (для студентів усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-професійної програми «Інформаційні управляючі системи та технології») / Упоряд.: Петров К.Е., Левикін В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Саєнко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 30 с.
4. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. – Чинний від 22.06.2015. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 04.03.2016. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.
6. API Google Maps. URL: <https://cloud.google.com/maps-platform/> (дата звернення: 1.12.2022).
7. Google Maps. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Карти_Google (дата звернення: 1.12.2022).
8. Bing Maps. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Bing_Maps (дата звернення: 5.12.2022).
9. Полный перебор. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полный_перебор (дата звернення: 5.12.2022).

10. Задача комівояжера. URL: https://wikipedia.org/Задача_комівояжера (дата звернення: 5.12.2022).
11. Методи розв'язку задачі комівояжера. URL: https://wikipedia.org/Задача_комівояжера#Методи (дата звернення: 6.12.2022)
12. Принцип роботи методу найближчого сусіда. URL: <https://www.mathros.net.ua/znahodzhennja-rovzjazku-zadachi-komivojazhera-metodom-najblyzhchogo-susida.html> (дата звернення: 6.12.2022)
13. Принцип роботи методу гілок і меж. URL: <https://studfile.net/preview/9010857/page:8/> (дата звернення: 6.12.2022)
14. Draw.io. URL: <https://www.diagrams.net/> (дата звернення: 7.12.2022)